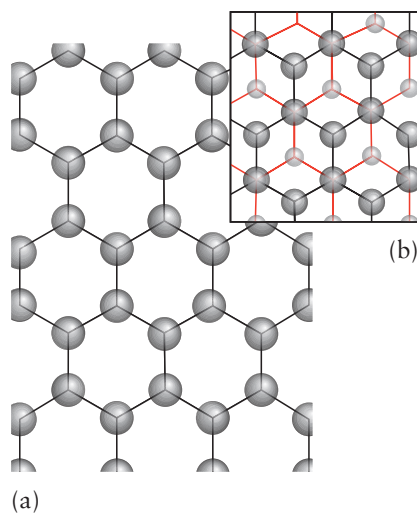


Materiali strutturali

I **materiali strutturali** sono molto duri e resistenti. Devono tollerare intense forze di deformazione e sono spesso usati per la costruzione di edifici.

■ Diamante, grafene e grafite

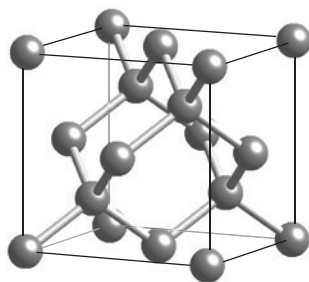
Diamante e grafite sono due allotropi del carbonio diversi per struttura e, di conseguenza, per proprietà. Nella grafite gli atomi di carbonio sono ibridizzati sp^2 e disposti a formare un reticolo esagonale che si ripete lungo un piano (► Figura 1). Gli elettroni si trovano delocalizzati negli orbitali π e sono liberi di muoversi da un atomo all'altro, ma poco da un piano all'altro. Questa libertà di movimento fa sì che la grafite sia un buon conduttore di elettricità. Tra i piani sono presenti impurezze atomiche che indeboliscono ulteriormente i legami e impediscono lo scorrimento delle lamine una sull'altra. Per questo motivo la grafite è tenera e fragile. Nelle matite si usa in miscela con l'argilla.



► **Figura 1** (a) La grafite è costituita da piani di esagoni accatastati l'uno sull'altro; (b) l'accatastamento ABAB dei piani adiacenti nella grafite. La figura mostra solo l'intelaiatura dei legami σ : i legami π si distribuiscono al di sopra e al di sotto dei piani.

Ciascun foglio di grafite è detto anche grafene. I singoli piani possono essere disposti uno sull'altro e «incollati» con molecole d'acqua. Quello che si ottiene è un materiale sottile come la carta, molto forte e flessibile, in grado di condurre elettricità e più resistente del diamante. Viene usato nel settore dell'elettronica.

Nel diamante, gli atomi di carbonio sono ibridizzati sp^3 e formano quattro legami σ tetraedrici con gli atomi di carbonio vicini (► Figura 2). Questa struttura lo rende un materiale rigido, elettricamente isolante e trasparente: è il miglior conduttore di calore e la sostanza più dura conosciuta. È un abrasivo ideale, usato anche per rivestire le punte dei trapani. Si forma solo ad alte pressioni e sotto terra. In natura si trova all'interno della *kimberlite*, una roccia tenera che si innalza in colonne dalle profondità della Terra.



► **Figura 2** La struttura del diamante. Ciascun atomo di carbonio è ibridizzato sp^3 e forma quattro legami σ tetraedrici con i suoi vicini. Lo schema si ripete per tutto il cristallo e rende conto dell'estrema durezza del diamante.

■ I composti ionici del calcio

I composti ionici del calcio hanno un'elevata rigidità di struttura, caratteristica tipica dei sali di calcio, e dovuta alla forza con la quale i cationi Ca^{2+} interagiscono con i loro vicini.

Il *calcare*, una forma impura del carbonato di calcio, è stato uno dei primi materiali da costruzione a essere impiegato. Altre forme sono il *marmo*, il *gesso roccioso*, l'*argonite* e la *calcite*, e tutte si presentano sotto forma di aggregati di piccoli cristalli. Le ultime due sono le forme più comuni: l'argonite è più dura e densa, ma meno abbondante e stabile, mentre la calcite impura è la forma più usata di calcare da costruzione. Uno dei problemi legati all'uso del carbonato come materiale da costruzione è che può reagire con gli acidi. Gli ossidi di azoto e zolfo, dovuti all'inquinamento atmosferico da combustione del carbone, petrolio e benzine, hanno reso la pioggia più acida e per questo in grado di reagire con il calcare, erodendo edifici, statue e monumenti.

Anche in natura i sali di calcio sono usati per formare strutture rigide: sono un esempio il carbonato presente nei gusci delle conchiglie, e il fosfato nel nostro scheletro.

■ I silicati

I silicati sono costituiti dalla *silice*, SiO_2 , un materiale duro, rigido e insolubile in acqua, che in natura si trova sotto forma di quarzo e sabbia. La silice è un solido reticolare formato da legami covalenti che deve la propria forza alla struttura, in cui ciascun atomo di silicio si trova al centro di un tetraedro di atomi di ossigeno. Ognuno degli atomi di ossigeno ai vertici è condiviso da due atomi di silicio.

Esiste un'ampia varietà di silicati le cui proprietà differiscono in base al diverso numero di cariche negative su ciascun tetraedro, al numero di atomi di ossigeno condivisi, e al modo in cui catene e lamine di tetraedri si dispongono insieme.

La diversa struttura interna di questi solidi reticolari genera un'am-

pia varietà di materiali, dalle pietre preziose alle fibre. Essi comprendono: gli *ortosilicati*, come lo *zircono*, e i *pirosseni*, come la *giada*; la *tremolite*, un minerale fibroso detto amianto (asbesto), usato in passato per isolare gli edifici perché in grado di sopportare temperature estreme, ma molto dannoso per la salute; il *talco*; gli *alluminosilicati*, come la *mica*; i *feldspati*, componenti principali del granito e materiali silicei più abbondanti sulla Terra.

■ Il cemento e calcestruzzo

Sono detti *cementi* i leganti in grado di tenere insieme i mattoni negli edifici o diverse strutture. Il più comune è il *Portland*, che si ottiene da una miscela di calcare macinato, argilla, sabbia e ossidi, riscaldati in una fornace. Le argille contengono molecole d'acqua che vengono espulse riscaldandole con carbonato di calcio. Il materiale duro che si ottiene, in pellet, è detto «clinker»: questi vengono frantumati e macinati con il *gesso* ottenendo una polvere che, mescolata con acqua, produce idrati e idrossidi e si trasforma in una massa dura in grado di fare presa. Il *calcestruzzo* invece è costituito da un legante e un eccipiente: l'eccipiente può essere il pietrisco o la *vermiculite*, mentre il legante è il cemento, generalmente il Portland.

■ Boruri, carburi e nitrucci

I *boruri* possono contenere metalli e non metalli. I boruri metallici sono formati in alcuni casi da cluster di atomi di metallo con al centro gli atomi di boro, ma generalmente formano una struttura estesa, come catene ramificate o a zigzag o reticoli di anelli esagonali di atomi di boro. La struttura reticolare li rende molto duri e resistenti al calore. Il *carborundum*, nome commerciale del carburo di silicio, è un carburo covalente, ottimo abrasivo.

I carburi interstiziali, invece, si formano per reazione diretta tra il carbone e un metallo del gruppo d,

a temperature superiori a 2000 °C. Il *nitrucci di boro*, BN, ha una struttura rigida simile a quella della grafite, ma è bianco e ha piani di esagoni dove ai vertici si alternano atomi di boro e azoto. Ha inoltre una minor conduttività elettrica dovuta al fatto che gli elettroni sono localizzati sugli atomi di azoto.

■ I vetri

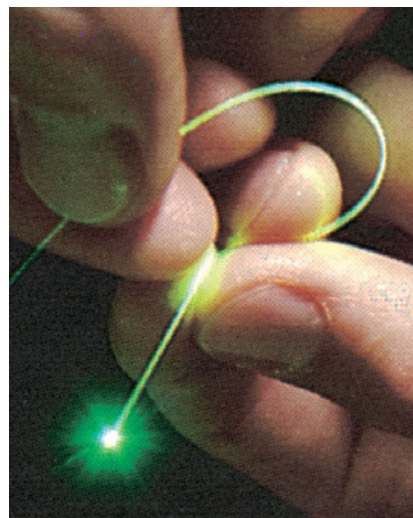
Il vetro è un solido ionico con una struttura reticolare composta da un ossido non metallico, generalmente la silice, fuso con altri ossidi metallici. Questi, alterando la struttura del reticolo, gli conferiscono la caratteristica struttura amorfa. Il vetro più comune usato per finestre e bottiglie è il *vetro alla calce-soda*, costituito da silice e ossidi di calcio e sodio, e rappresenta quasi il 90% di tutto il vetro prodotto. Riducendo la quantità di calce e soda e aggiungendo il triossido di boro, B_2O_3 , si ottiene un *vetro al borosilicato*, come il *pirex*, molto resistente alle variazioni di calore e usato per recipienti da forno e laboratorio.

La luce non viene diffratta dal vetro perché non contiene al suo interno regioni cristalline, ma passa inalterata come avviene con l'acqua. Sono fragili, duri e otticamente trasparenti e per questo sono utilizzati per la realizzazione di fibre ottiche (► Figura 3).

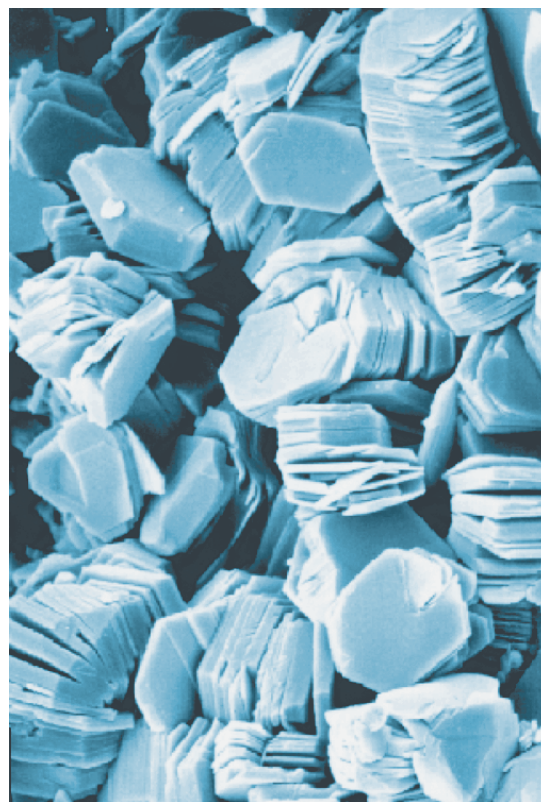
Il vetro resiste all'attacco di molti prodotti chimici ma può essere intaccato da basi forti e acido fluoridrico.

■ Materiali ceramici

L'argilla costituisce la base di numerosi materiali usati per le tecnologie più avanzate. È composta da scaglie, formate da lamine impilate una sull'altra, separate da molecole di acqua (► Figura 4). Ogni lamina a sua volta è composta da unità tetraedriche di silicato o da unità ottaedriche di ossidi di magnesio o di alluminio. Se cotta nel forno perde le molecole d'acqua e si instaurano



► **Figura 3** Le fibre di vetro come questa, del diametro paragonabile a quello di un capello, sono usate nelle reti di comunicazione quando occorre trasmettere un considerevole numero di informazioni in breve tempo.



► **Figura 4** Questa micrografia mostra strati di particelle di argilla. Gli strati, avendo superfici con carica dello stesso segno, si respingono a vicenda e possono scorrere facilmente l'uno sull'altro rendendo l'argilla tenera e plasmabile.

legami chimici molto forti dando origine ai *materiali ceramici*, usati per fabbricare mattoni, tegole e recipienti. Oggi esiste un'ampia gamma di questi composti e tra le loro caratteristiche ricordiamo: durezza, insolubilità in acqua, resistenza alle

alte temperature e alla corrosione.

Esistono anche materiali ceramici di ultima generazione, con elevate prestazioni strutturali e non ottenuti dalle argille. Il *corindone* o allumina alfa, ricavato dall'ossido di alluminio, trova spazio in molte

applicazioni tra cui la fabbricazione dei microchip. Con il *processo sol-gel*, invece, si ottiene una schiuma sintetica solida, o *aerogel*, densa come l'aria ma molto resistente e con ottime proprietà isolanti (► Figura 5).



► **Figura 5** Un aerogel è una schiuma ceramica. La densità e la conduttività termica basse, combinate con l'elevata resistenza, ne fanno un eccellente isolante. In questa fotografia un sottile strato protegge dal calore della fiamma tre pastelli di cera. Gli aerogel sono serviti per esempio a isolare il Mars Rover (utilizzato dalla NASA per l'esplorazione del pianeta Marte).